The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	脈波におけるカオス解析の技術開発と展望 ： 中国における心理問題への対処法としての応用展開の可能性
Author(s)	胡, 毓瑜; 三好, 恵真子
Citation	大阪大学大学院人間科学研究科紀要. 2014, 40, p. 27-46
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/27182
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

脈波におけるカオス解析の技術開発と展望
－中国における心理問題への対処法としての応用展開の可能性－

胡　　毓　瑜・三　好　恵真子

目　次

１．緒言
２．カオス現象と脈波測定技術開発
３．種々の場面における脈波の応用
４．おわりに：中国における本技術実践への展望

脈波におけるカオス解析の技術開発と展望
－中国における心理問題への対処法としての応用展開の可能性－

胡　毓　瑜・三　好　恵真子

1．緒言

1-1. 近代中国の心理問題における課題

中国では改革開放以後の急速な発展・社会変化とともに、種々の問題が露呈してきたが、「心理問題」も、その一つである。2013 年の「中国青年報」の報道によれば、中国における精神障害者は 1 億人以上にのぼり、このうち重度な精神病患者は 1,600 万人を超え、心臓疾患やがんなどを上回るようになったといわれる。具体的には、うつ病患者は 3,000 万人に達し、また 17 歳以下の青年・児童の中で、情緒障害及び行に障害がある人は 3,000 万人に達している。さらには「心理問題」から様々な「社会問題」へと派生しており、自殺は無論のこと、暴力事件等の引き金になる可能性も示唆される。北京大学の精神衛生研究所の副所長唐宏宇は、重度精神病患者 1,600 万人のうち、10%が暴力行動の危険性があると推察している。ごく最近のものであれば、2013 年の 7 月 17 日に、北京朝阳大悦城の付近で、刃物を持った男が通行人に襲い掛かり、2 人が死亡する事件が発生し、また 7 月 22 日には、北京西城区あるスーパーで、包丁を持った男が 2 歳半の男児を含む少なくとも 4 人を切りつけ、そのうち 1 人の女性が死亡する事件が起きた。これら事故後の検査によれば、この二人の犯人は精神病患者であることが判明している。

しかしながら、中国では、心理問題に対する社会の認知度は低く、医療体制の不備もあげられ、環境整備は急務である。さらに問題なのが、自殺や殺人等の事件が、個人の心理の側面から考察されることは少なく、自殺の場合は、例えば大学生ならば、高等教育産業化[1)]や教育行政化、また試験重視の教育制度に目が向けられる場合がほとんどである。つまり、個々人の心理状態よりも社会的制度の方がはるかに重要な案件であると考えられているのである。現状では中国の制度問題は深刻なため、それが重視されるのは当然であるが、人々の問題が、制度の課題の裏に完全に隠蔽されてしまっている現状は明らかに問題であると指摘したい。

このような状況を生み出した根源的な原因は、二つあると考えられる。一つは、中国における心理学の発達が複雑な経緯により遅れをとってきたことである。科学的心理学が誕生したのは、中国が西洋と接してからであり、1920 年頃に、西洋の教育システムの導入に伴って発達しつつあったが、1949 年に中華人民共和国が成立して以来、心理学は、

立ち入りを許されない紫禁城と呼ぶべき分野になってしまった（荊 1989）。特に、心理学における最大の混乱は、1966 年から 76 年の間に生じた文化大革命の時期であり、このとき心理学は、ブルジョワのエセ科学のレッテルを貼られていた。心理学が、近代化に貢献しうる科学領域であると認められたのは、文化大革命が終わってからのことであり、それでも、外国の心理学の諸学派を中国に紹介するにとどまっていた。したがって、中国では心理学の蓄積・実践面でも人材育成の面でも、十分な環境にはなかった。かたや開放政策の結果、西洋の進んだ科学技術や経営法が学ばれてきたが、同時に好ましくない社会への影響が出てくることも不可避であったと予測がつくものの、基礎研究の遅れも足かせとなり、実践での対応には大きな溝ができてしまったと考えられる。

二つ目は、上述の学問的変遷の背景も受けて、中国国内での精神衛生に関する知識が不足していることから、精神疾患に対する国民の認知率、精神疾患患者の識別率、要治療者の受診率はかなり低く、精神疾患患者に対する正しい理解・同情が欠如することにもつながる。こうした状況とは裏腹に、精神科医は少なく、精神疾患医療サービスが著しく不足している現状にあるといえる。

1-2. 本研究の着眼点と分析的枠組み

心理学は、人の心的過程や行動の予測と制御を目的とする学問であるが、中でも、「生理心理学 (physicological psychology)」は、生体信号に表出される生理的変化から、人の生理･心理状態の推定を行うものである。従来の生理心理学では､種々の生体信号(脳波，心電図，心拍間隔，血圧，呼吸，指尖容積脈波など）は、様々な手法を用いて解析され、多くの知見が得られてきたが、その大半は、線形理論に基づく解析手法が主流であった。しかしながら、生体信号には非線形的性質が含まれており、これらは、カオス (chaos) と呼ばれる非線形的性質により変動することが知られ、近年、生体信号に含まれるカオスを定量化することから、人の生理・心理状態を推定する「カオス解析 (chaos analysis)」が試みられている。

そこで、本稿では、指尖容積脈波（以下「脈波」と記述することもある）に含まれるカオスの定量化を試み、実際に様々な対象場面で測定・分析した結果を紹介する。特に、脈波は簡易な測定方法も確立されているため、中国における心理問題への対処法としての応用展開の可能性を模索してみたい。上述のように、中国の場合、精神衛生に対する知識が不足し、環境整備が遅れている現状からも、個々で対処できる早期発見と予防のために本技術の導入は、一つの有効な手段となり得ると考えられる。他方、中医学には、望診、聞診、問診、切診という診察方法が存在し、そのうち切診には脈診と按診ある。ここでの脈診は、主に手首の橈骨動脈（寸口部）を按圧して病状を知る方法であり、こうして中医の医者は､古くから脈波によって､患者の生理状態を判断している経緯からも、中国社会での汎用の可能性が期待される。

２．カオス現象と脈波測定技術開発

カオスとは、システムの状態遷移規則が決定論的であるにも関わらず、システム自体の非線形性によって確率系と等価な複雑さを生み出す現象のことを指し示す。またカオスは、方程式等によって対象の状態を決定論的に記述できるにも関わらず、その様相は法則性が見いだせず、ランダムネスのような非常に複雑な挙動を示す。しかし、近年、カオス理論の発展とともに、生体信号におけるカオス情報の存在が明らかになり(Abarbanel, et al., 1993)、それらを定量化することから、人の生理・心理状態を推定するカオス解析の有効性が様々な実験により証明されている。本章では、カオス現象並びにその解析手法、さらに実際の測定方法について概説することとする。

2-1. カオス現象とアトラクター

カオス現象は、上述のように、一見無秩序に見えるものの、実際にその背景に確固たる規則が存在する現象を指す。言い換えると、次に起こる現象が確率で決まるのではなく、ある一定のルールに従って決定論的に決まる現象なのである。規則に従っているのに対象が無秩序に見えるのは、その対象を構成する要素の一つ一つの動きは単純であっても、集合体として振る舞うと複雑になるからである。こうした対象のことを複雑系と呼ぶ。人間も複雑系であり、その複雑系から産出される生体信号にカオス情報が存在する可能性が高いと判断されるのである。

カオス解析方法にはいくつか存在するが、その代表的な手法はアトラクターを描く方法である。アトラクターは、ある力学系がそこに向かって時間発展をする集合のことであり、その力学系において、アトラクターに十分近い点から運動するとき、そのアトラクターに十分近いままであり続ける。

カオスな力学系に対してアトラクターを描写することは、現在においてもカオス理論における重要な研究課題の一つである。 アトラクターに含まれる軌道は、そのアトラクターの内部にとどまり続けること以外に制限はなく、周期的であったり、カオス的であったりする（図１）。

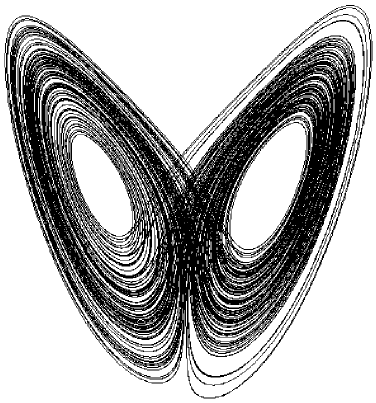


図１：　カオスな力学系のアトラクター

また、脈波の場合、記録したデータは 1 変数の時系列である。1 次元の時系列変化を d 次元の状態空間に埋め込む方法をターケンス埋め込み法と呼ばれる。この方法によってシステムのアトラクターが 1 つのデータから再現でき、視覚的に表示されることになる（図 2）(Oyama-Higa, et al., 2006)。 観測された一次元の時系列データを x(i),(i =1,2,⋯, n) とする。このデータを用いて、d 次元空間の中に軌跡を描くには、適当な時間遅れをとり、ベクトル

$$X(i)=[x(i),x(i+r),\cdots,x(i+(d-1)r)] \quad (1)$$

の軌跡を作ればよい。このベクトル X(i) を、座標軸 x(i),x(i+r),x(i+2r),⋯,x(i+(d-1)r) に順次プロットしていくと (i=1,2,⋯,n) 、軌道（カオス・アトラクター）が得られる。

ここでは計算過程は省略するが、結果は d=4、r=0.05s である。また、アトラクターの形状をみることにより、脈波の中にカオス情報が存在することが実証されている。

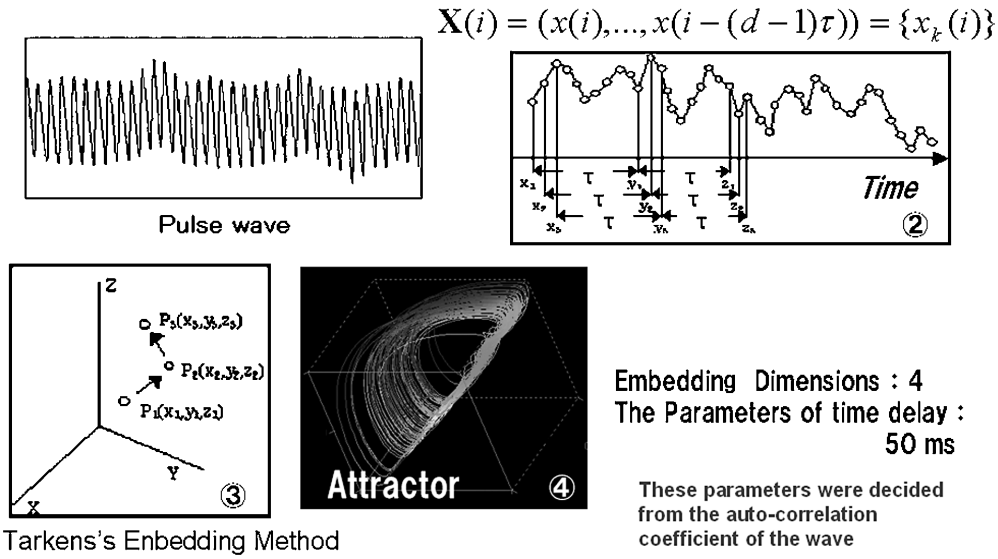


図 2： 脈波のアトラクター

2-2. 最大リアプノフ指数

2-1 の手順を経ても、アトラクターの構造はまだ不足しており、分析の際、さらに重要な情報を得るため、最大リアプノフ指数 (The largest Lyapunov exponent, LLE) の計算が必要になる。リアプノフ指数とは、近接した 2 点から出発した二つの軌道が、どのくらい離れていくかを測る尺度である。この軌道幅の時間的な変動を数値にしたものがリアプノフ指数であり、その最大値を最大リアプノフ指数と呼ぶ (Sano & Sawada, 1985)。

最大リアプノフ指数は次のように定義される。

$$\mathrm{LLE} = \lim_{t\to\infty} \lim_{\epsilon\to 0} \frac{1}{t} \log \frac{|\delta X_\epsilon(t)|}{|\epsilon|} \tag{2}$$

$$\delta X_\epsilon(t) = X(t) - X_\epsilon(t) \tag{3}$$

$$\epsilon = \mathrm{X}(0) - X_\epsilon(0) \tag{4}$$

ここで、最大リアプノフ指数が大きいほど、アトラクターの変動幅は大きくなる。つまりゆらぎの幅が大きいと言える。逆に最大リアプノフ指数が小さいほどアトラクターの変動幅は小さくなり、ゆらぎの幅も小さいと言える。脈波の場合、リアプノフ指数が大きい状態とは、肯定的に捉えると、行動的で積極的な状態であり、反対に否定的に捉えると不安定で心許ない状態である。一方リアプノフ指数が小さい状態とは、変化を好まない頑なな状態で、外部適応が困難な状態ともいえる。

2-3. 脈波の原理と測定方法

本研究を取り上げる脈波とは、「指先の毛細血管を流れるヘモグロビンの増減」である(Sumida, et al., 2000)。生体信号の中でこの指尖脈波にはいくつの特徴かある。まず、測定部位が指先であることから、指尖脈波は測定が極めて簡単であるという特徴がある。複雑な脳波測定と比較すると、その簡便さがイメージしやすいであろう。また脈波自体が重要な情報が持っていることも､大きな特徴である (Tsuda, et al., 1992)。さらに脈波は、身体のみならず心的状態を鋭敏に反映する生体信号だということが明らかになってきた。

まず脈波からは、心拍の情報を得ることができる。これをスペクトル分析という特殊な方法で分析することにより、交感神経（計算式で LF と表示する）と副交感神経（計算式で HF と表示する）の活動を読み取ることができる。交感神経は心身の活動が高まっているときに活発に働き、副交感神経は疲労した心身を回復させるときに活発に働く。また両者の情報を用いることで、自律神経バランス（計算式で ANB を表示する）を算出できる。これは交感神経と副交感神経のどちらが優位なのかを示す指標である。

自律神経バランスは次のように定義される。

$$\mathrm{ANB} = 10 \times \frac{LF}{HF+LF} \tag{5}$$

ANB が 5 より大きい時、交感神経が優位であり、反対に 5 より小さい時、副交感神経が優位である。

さらに脈波から中枢系の情報を得ることができる。全身麻酔の時の最大リアプノフ指数の状態を調べる実験を行った結果、中枢神経の活動が停止するため、最大リアプノフ指数は低下した。この結果により、脈波の中に脳の中枢系の情報が含まれていると推定できる。

また、脈波の中に呼吸システムの情報が含まれていることが他の実験によって、証明されている。

したがって、脈波は血圧や心臓の波動、呼吸など複数の各部位から発信される様々な信号の合成と考えられる（図 3）。

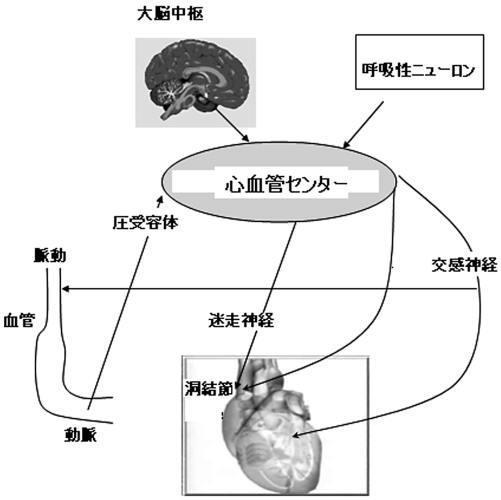


図 3：　脈波の数理モデル

この脈波の測定システムについて、その概略を示したものが図 4 である。

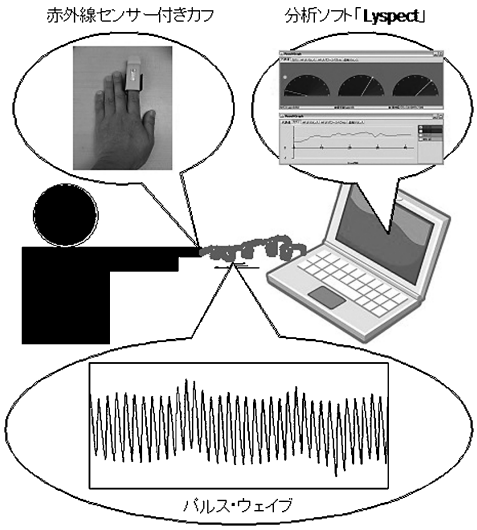


図 4：　脈波測定システム

このシステムは、脈波を読み取る赤外線センサーが付いたサック状のカフ（測定装置）とパソコン、また解析ソフトから構成されている。赤外線センサー付カフを指先に装着し、指先の毛細血管を流れるヘモグロビンの増減をとらえる。この値がデジタル変換されてコンピュータに蓄積される。コンピュータ内には解析用の専用ソフトが入っており、上述の手順により、プログラムを作って、指尖脈波をデジタルデータとして保存し、非線形分析をすることができる。専用ソフトセンサーは、指の尖端のほか、耳たぶ、足先などでも測定は可能である。しかし心臓からの血流と同期が必要であることから、左手の指先の感度が高く、測定には適している。

指先にカフを取り付けてソフトウェアのスタートボタンを押すと、リアルタイムで毛細血管を流れるヘモグロビンの増減が波形としてパソコンのモニターに表示される。一般的には、測定を３分間行い、終了したら、測定したヘモグロビンの増減からアトラクターを作成する。上述したように時系列の波形からアトラクターを描くには、ターケンス埋め込み法を利用し、測定した波形からアトラクターを描く。実際に、採取する位置は 50 ミリ秒ずらした 4 点とし、4 次元空間にアトラクターを描く。さらにリアプノフ指数、交感神経と副交感神経の値、血管年齢など様々な指標の値は、自動的に計算される。このような測定システムと利用すると、人の心理状態が客観的に分析でき、また、心理における問題が発生した際、脈波により発見できる可能性が示唆される。

３．種々の場面における脈波の応用

3-1. 脈波で精神病の特徴分析

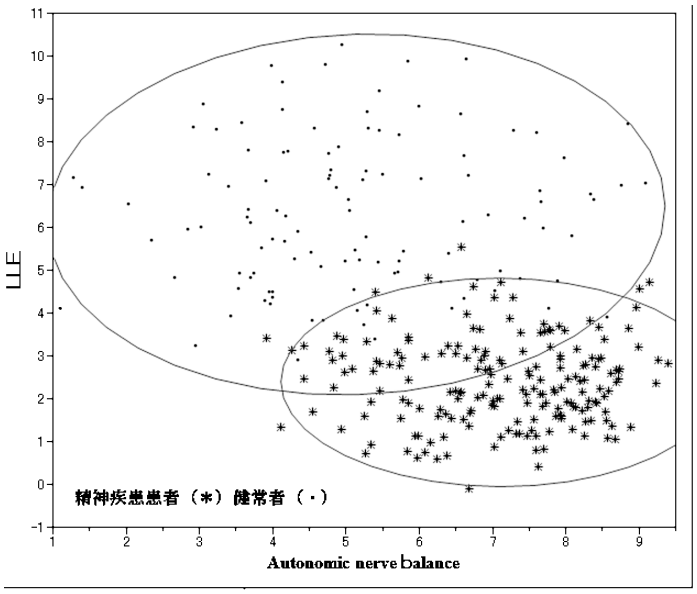
鬱とは、急激な憂鬱や不安、虚無感による精神的混乱を指し、自殺と深い関係があると考えられている。うつ病は、本人の自覚がないまま病気が進行する場合が多く、早期発見および早期治療が欠かせない。これは自殺を抑制するためにも極めて有効だと考えられる。鬱病の早期発見には、日常の行動や状態をモニタリングする必要がある。よって、脈波から得られる最大リアプノフ指数や交感神経・副交感神経の情報は、人間の心の状態を知るための客観的データとして活用でき、またデータを有効に活用することで、鬱病の早期発見につながると考えられる。

本研究では、2009 年 8 月から 9 月に、専門のカウンセラーおよび精神科医の支援を受けて、精神疾患患者の脈波を測定した。全部で 195 回であり、その一部の患病名を示したのが表 1 である。また患者と比較するために関西学院大学に所属する健康な学生 113 名（男性 42 名、女性 71 名）を対象にして同様に指尖脈波を測定した (Yuyu Hu et al., 2011)。

表１：　測定した精神疾患患者の病名

番号	病名
1	大うつ病性障害・原発性睡眠障害
2	気分循環性障害
3	摂食障害・器質性精神病性障害（甲状腺機能低下症）
4	大うつ病性障害（単一型）
5	短期精神病性障害(顕著なストレス因子があるもの)
6	器質性精神病性障害（甲状腺機能低下症）
7	双極Ⅱ型障害
8	気分循環性障害・強迫性PD
9	適応障害
10	PMS・器質性精神病性障害
11	統合失調症（妄想型）
12	器質性精神病性障害（橋本病）
13	分裂病質障害・気分変調性障害
14	強迫性障害
15	広場恐怖
16	気分変調性障害
17	アスペルガー症候群
18	分裂感情障害（うつ病型）
19	全般性不安障害
20	摂食障害・月経前緊張症
21	気分循環性障害
22	全般性不安障害
23	分裂感情障害（うつ病型）
24	摂食障害
25	社会恐怖
26	気分変調性障害・PTSD・化学物質過敏症
27	分裂感情障害（うつ病型）
28	器質性精神病性障害（橋本病）
29	気分変調性障害・強迫性障害
30	大うつ病性障害（単一型）・急性ストレス障害
31	摂食障害・気分変調性障害・PMS
32	気分変調性障害・PTSD
33	大うつ病性障害（単一）
34	心的外傷後ストレス
35	器質性精神病性障害（バセドー氏病）
36	大うつ病性障害・特定不能の不安障害
37	短期精神病性障害(顕著なストレス因子があるもの)
38	器質性精神病性障害
39	大うつ病性障害反復性・燃え尽き症候群

測定した各自のデータは、縦軸に最大リアプノフ指数、横軸に自律神経バランスをとって２次元空間上にプロットする。その結果を示したのが図５である。



最大リアプノフ指数（縦軸）と自律神経バランス（横軸）分布
p＝0.950 確率楕円

図 5： 精神疾患患者と健常者の分布

グラフの「※印」が精神疾患患者で、「・印」が健常者の各データである。楕円は精神疾患患者と健常者のそれぞれのグループが 95%収容されるように描いたものである。

また、それぞれの指標を、図 6、図 7 のように示すと、精神疾患患者が最大リアプノフ指数は低く、かつ自律神経バランスは高い傾向を示すことがわかる（左側は精神疾患患者、右側は健常者)。グラフの青い水平線は、全体の平均を示している。各系列の上下の横線は、最大値と最小値である。算盤の珠の中央を走る横線はその系列の平均値を示している。

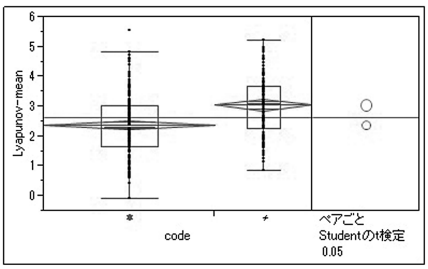


図 6： 精神疾患患者と健常者の最大リアプノフ指数

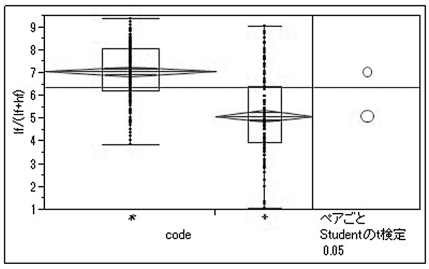


図 7： 精神疾患患者と健常者の自律神経バランス

分散分析の結果を表 2 に示したが、前図の描写よりも、精確な数字が把握できる。

表 2：　分散分析の結果

Group Statistics

VAR00003		Mean	Std. Deviation	Valid N (listwise) Unweighted	Weighted
.00	VAR00001	2.4113	.99450	195	195.000
	VAR00002	7.0848	1.22139	195	195.000
1.00	VAR00001	3.0595	.98269	113	113.000
	VAR00002	5.1228	1.72203	113	113.000
Total	VAR00001	2.6491	1.03693	308	308.000
	VAR00002	6.3650	1.70926	308	308.000

全体の最大リアプノフ指数の平均値は、2.6491、分散は 1.03693 であり、その中で精神疾患患者の平均値は2.4113、分散は0.99450 であるのに対し、健常者の平均値は3.0595、分散は 0.98269 であった。また、全体の自律神経バランスの平均値は 6.3650、分散は 1.70926 であり、その中に精神疾患患者の平均値は 7.0848、分散は 1.22139 であり、健常者の平均値は 5.1228、分散は 1.72203 であった。

表 3：　分散分析の結果

Tests of Equality of Group Means

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
VAR00001	.909	30.660	1	306	.000
VAR00002	.693	135.584	1	306	.000

また表 3 の結果 ($p<0.0005$) から、最大リアプノフ指数と自律神経バランスは、指標として、いずれも精神疾患患者と健常者の間には有意な差があることが証明された。

次は判別分析の結果である。判別分析を利用すると、対象者が精神疾患患者かそうでないかが判断できる。

表 4：　判別分析の結果

	Function
LLE	0.696
ANB	-0.306
Constant	-0.734

判別関数の非標準化係数の値を表 4 に示したが、これにより判別関数ができる。

$$f = -0.734 + LLE \times 0.696 - ANB \times 0.306 \quad (6)$$

表 5：　判別分析の結果

V	Function
0	-1.221
1	2.108

表 5 に示すのは二つのグループの重心であり、健常者（V=1）は 2.108 で、精神疾患患者 (V=-1.221) である。ここで、臨界分割点が計算できる。

$$y = (-1.221 \times 195 + 2.108 \times 113) / 308 = 0.171213 \quad (7)$$

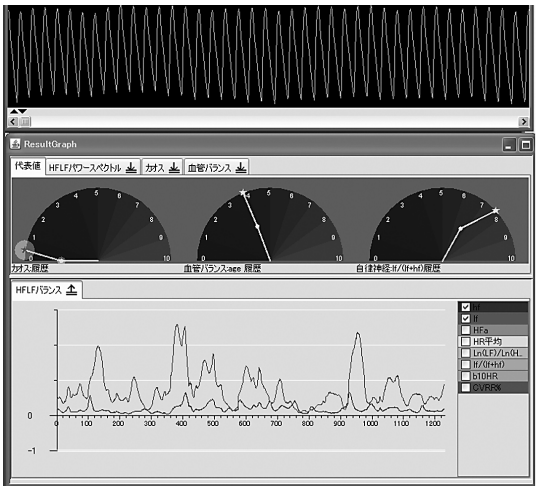
測定された脈波から得た最大リアプノフ指数と自律神経バランスは、判別関数に代入すると、計算した関数値が臨界分割点と比べ、関数値のほうが大きい場合は健常者であると判断でき、逆の場合は精神疾患患者であると判断できる。

表 6：　判別分析の結果

		V	Predicted group membership		Total
			0	1	
Original	Count	0	190	5	195
		1	10	103	113
	Percentage	0	97.4	2.6	100.0
		1	8.8	91.2	100.0
Cross-validated	Count	0	189	6	195
		1	10	103	113
	Percentage	0	96.9	3.1	100.0
		1	8.8	91.2	100.0

この判別分析の正確率を、1 つとって置き法で検証した結果を表 6 に示した。つまり、判断結果が健常者の時、正確率は 97.4% であり、判断結果が精神疾患患者の時、正確率は 91.2% である。

以上は、統計分析の結果であるが、最大リアプノフ指数と自律神経バランスの原理に合わせ、測定の画面（図 8）とアトラクターの形（図 9）によって、患者の心理状態が分析できるようになっている。



45才　　61分

大うつ病性障害・原発性睡眠障害

図 8：　精神疾患患者の最大リアプノフ指数と自立神経バランス

図 9：　精神疾患者のアトラクター

画面の上部は指尖脈波の状況を示している。中央部左側の星座グラフが最大リアプノフ指数の推移を示しているが、右側の星座グラフは自律神経バランスを示している。グラフの右側ほど値が高く、左側ほど値が低くなっている。

また画面の下部には時系列で見た交感神経と副交感神経の優位度を示している。今回のケースではどの画面でも継続して高い値を示しているのが交感神経である。

比較のため健常者の測定の画面（図 10）とアトラクター（図 11）を示す。

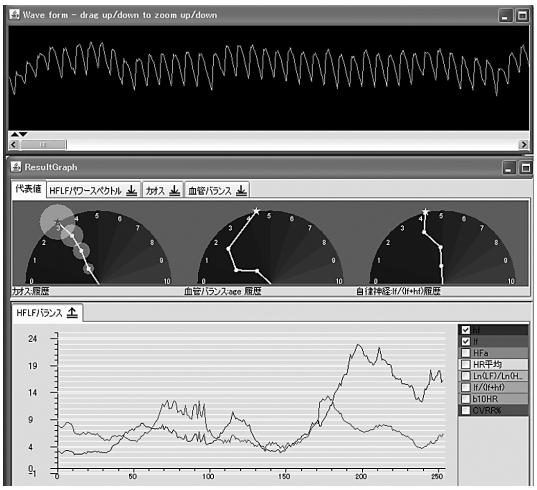


図 10： 健常者の最大リアプノフ指数と自律神経バランス

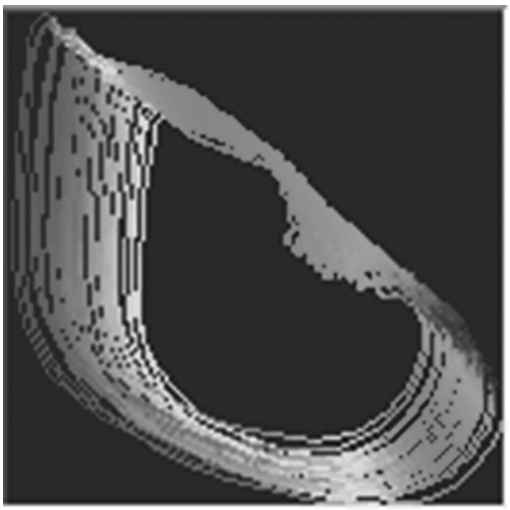


図 11： 健常者のアトラクター

両者と比較すると、健常者の場合、アトラクターの幅が広く、最大リアプノフ指数が相対的に高い位置でゆらいでいる。また自律神経バランスも左右に偏ることなく、ゆらいでいる。特に下図の時系列グラフでは、交感神経と副交感神経が交互に高くなったり低くなったりしているのが分かる。よって健常者の場合、こうしたゆらぎが無意識のうちに行われていると推察できる。

一方、精神疾患患者のグラフを見ると、いずれの患者も最大リアプノフ指数が継続して左に傾いている。つまり最大リアプノフ指数の低い状態が長く続いているということを意味している。これは、予測されるとおり、人とのかかわりを拒否する鬱病患者に見

られる大きな特徴の一つとして表れている。最大リアプノフ指数が極端に低く、こうした状況が長く続くということは、人とのコミュニケーションを嫌い、内に閉じこもる状態がイメージされる。

しかし、自律神経バランスについては、患者の方が右に振れているのが分かる。これは交感神経と副交感神経のバランスを示すもので、5 より大きいと交感神経優位である。さらにこの交感神経優位を時系列で見たのが画面下部のグラフである。継続して交感神経が優位なのがよく分かる。つまり交感神経が継続して優位ということは、一般的な認識と異なり、やる気がない、消極な心理状態ではなく、逆に緊張していたりストレスを感じていたり、あるいはイライラしたりしている状態であるといえる。つまり精神疾患患者は、内に閉じこもりながらも、内面では非常に緊張している状態にあると考えられる。

また、その他の研究報告によれば、鬱病患者に投薬は大変有効であるが、投薬が契機となって、最大リアプノフ指数が高止まりしてしまうと、突如活動的になってしまう点である。こうなると突発的に人を傷つけたりあるいは自分自身を傷つけたりする可能性も排除できない。緒言で触れたような傷人事件について、これらの行動も指尖脈波から得られる最大リアプノフ指数から考察すると、その原因の一端が明らかにできるかもしない。

3-2. 脈波とストレスの関係

ストレスは心因性精神疾患の主要な原因となり、また、ストレスは仕事のミスや事故と深い関係がると考えられる。ミスや事故の影響を受け、仕事に対するマイナスな感情が生まれ、人間関係が悪化すると、ストレスは更に増加し、まさに悪循環を生み出してしまう。

監視作業の実験（医療場面において医者が複数の心臓病患者を監視する場面を想定した実験システム）において、監視者から脈波をとって最大リアプノフ指数の変化を計算した報告 (Imanishi, et al., 2006) より、最大リアプノフ指数が低くなるとミス率が高まり、逆に高くなるとミス率が軽減することが分かった（図 12)。

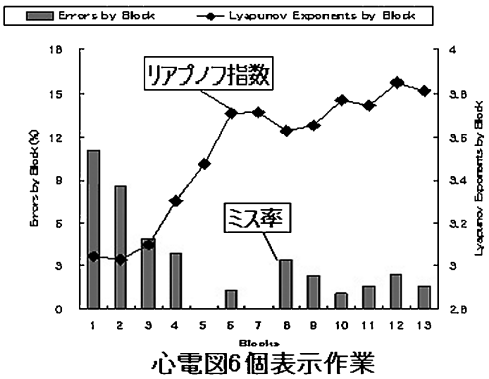


図 12：　監視作業における判断・操作ミスと最大リアプノフ指数の関係

また、2005 年 8 月に大手企業の社員 20 名について指尖脈波を測定し、昼間の就業時の最大リアプノフ指数と、問診で回答してもらった疲労度インデックスの関係性が検討されている (Imanishi, et al., 2005)。その結果､最大リアプノフ指数が低い人は､疲労度インデックス中の「不安度」と「鬱傾向」の値が高いことが明らかとなった（表 7)。

表 7： 最大リアプノフ指数と疲労度インデックスの関係

疲労度インデックス（一部）	昼の最大リアプノフ指数
年齢	0.09
気力減退	−0.64
一般的疲労感	−0.39
労働意欲の低下	−0.51
不安感	−0.73
抑うつ状態	−0.70
慢性疲労徴候	−0.51
疲労蓄積度	−0.63

このように、指尖脈波から得られる最大リアプノフ指数は、労働者の心身状況を把握するための一助としておおいに活用できることが示唆される。また、客観的なデータとして活用できることは自明である。

以上のような脈波を用いた技術開発は、例えば子どもの脈波のカオス解析と母親の愛着の関係、音楽セラピーや動物セラピーの効果検証、認知症老人に対する声かけ効果、モニター監視作業における判断・操作ミスと最大リアプノフ指数の関係等、様々側面での実験結果によって、人の心理状態をある程度、客観的に把握できることが証明されている。

4．おわりに：中国における本技術の実践への展望

本稿では、生理心理学において、従来から主流とされてきた線形解析とは別に、生体信号に潜在している非線形的性質であるカオスを定量化することにより、人の生理・心理状態を推定するカオス解析に着目し、脈波から得られる本実験および共同研究者の一連の研究成果を元に、その有効性を確認してきた。しかしながら、現在でも、解析上の課題や生体信号におけるカオスと生理学的意味づけができない等、複数の課題が残されている。今後、諸科学の連携および実践的研究の蓄積が求められるであろう。

一方、中国における心理に関わる複雑な社会問題、並びに精神衛生環境を巡る様々な問題点に鑑み、個々で対応できる早期発見と予防のために、脈波測定技術の導入は、有効な手段となり得ると考えられる。しかし、当然ながら乗り越えなければならない課題が数多く存在している。

緒言で述べたように、中国における心理学の基礎研究の遅れにより、脈波に関する研究

の実績は大学・研究所すべてに渡って皆無である。さらに、中国では、これまで述べてきたような実験的・生理的方法やそれに関連する先端技術の導入はスムースであったとしても、中国の固有性が抱える問題により、よりソフトな部分、すなわち社会に関する部分に関しては、海外研究の単なる模倣では、常に困難が伴うことは必然である。よって、中国独自の条件から発生する要求に応えられるように、文化に根ざした中国の心理学を作り上げてゆく必要があると考えられる。また、国際的な学術交流の進展、並びに海外で専門性を研鑽した中国人研究者の母国での活躍や今後の人材育成への貢献が期待される。

さらに実践面において、日本においては、一般でも脈波測定装置や分析ソフトが手軽に手に入れられ、心理状態が自らチェックできる環境にあるが、中国では一般に流通するまでには、それ相応の時間を要するであろう。現時点での可能性としては、脈波の装置とオフトの自国生産を目指すこと、あるいは、研究機関、病院等の組織での利用が現実的であると考えられる。しかし、個人情報の保護や知的所有権の問題、海賊版の予防と対策など複数の課題が連動してくることはいうまでもない。

いずれにせよ、脈波測定技術を、中国のより多様な場面において、応用展開を目指すのであれば、現地での実験測定データの集積とその分析・検討が求められる。よって本研究では、引き続き中国の社会的条件を考慮した包括的な研究計画を遂行し、今後確実に実現してゆきたい。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、カオテック研究所の雄山真弓先生におかれましては、脈波のカオス解析をご指導頂き、実験に多大なるご協力頂きましたこと、厚く御礼申し上げます。

注

1）1992 年 6 月 16 日中国共産党中央・国務院の「第三次産業を急 速に発展させることに関する決定」の中で、中国政府は明確に教育を「第三次産業」と決めつけ、ほかの第三次産業と同様に「産業化を方向とし、活力あふれる自活体制を築かなければならない」、また「価値規律に従い、価格体制を改革し…料金の国家統制を開放し、状況に応じて自由に料金を定め、合理的な料金体制を築く必要がある」と通達した。

参考文献

Abarbanel, H.D.I., Brown, R., Sidorowich, J.J., Tsimring, L.S. (1993). The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical Systems. *Rev. Mod. Phys*., 65, 1331-1992.

Imanishi, A. and Oyama-Higa, M.(2005), Measuring Judgment and Operation Errors and Biological Information during Task Performance-Verification by chaos analysis of fingertip volume pulse waves-. *The Second World Congress on Lateral Computing*, Bangalore, India, 117

Imanishi, A. and Oyama-Higa, M. (2006). The Relation Between Observers' Psychophysiological

Conditions and Human Errors During Monitoring Task. *2006 IEEE Conference on Systems*, Man, and Cybernetics, 2035–2039.

Oyama-Higa, M. and Miao, T. (2006). Discovery and Application of New Index for Cognitive Psychology. *2006 IEEE Conference on Systems*, Man, and Cybernetics, 2040–2044.

Sano, M. and Sawada, Y. (1985). Measurement of the Lyapunov Spectrum From a Chaotic Time Series. *Phys. Rev. Lett*., 55, 1082-1085.

Sumida, T., Arimitu, Y., Tahara, T. and Iwanaga, H. (2000). Mental Conditions Reflected by the Chaos of Pulsation in Capillary Vessels. *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 10, 2245–2255.

Tsuda, I., Tahara, T. and Iwanaga, I. (1992). Chaotic Pulsation in Capillary Vessels and Its Dependence on Mental and Physical Conditions. *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 2, 313–324.

Yuyu Hu, Wenbiao Wang, Takashi Suzuki, Mayumi Oyama-Higa(2011), Characteristic Extraction of Mental Disease Patients by Nonlinear Analysis of Plethysmograms, *2011CMLS*, 92–101

荊其誠（1989）「中国における心理学の最近の発展」『心理学研究』Vol.60, 117-121

Technology development and the prospect of chaos analysis through pulse waves: The potential for the applied development of the correspondence method to mental illness in China

Yuyu Hu and Emako Miyoshi

One of the problems caused by China's rapid development is the mental health problem, which is now becoming increasingly severe. However, people have not yet attached enough importance to this issue. Chinese people are not accustomed to considering problems from a mental health standpoint. One possible reason is that psychology is still a developing field in China, and thus its applications are not convincing to the general public due to its lack of professionalism. Another possible reason is the displeasure of many people at the thought of mental illness, which results in their reluctance to receive psychological therapies. Therefore, if we introduce to China the pulse-waves-based technology used for the measurement of mental status, we can expect early discovery of mental illnesses, which will benefit thousands of mental patients.

This paper first provides the preliminaries concerning pulse waves including chaos theory as the theoretical basis for this technology, the basic principles of pulse waves, and the indexes used, namely, the Largest Lyapunov Exponent (LLE) and the Autonomic Nervous Balance (ANB). Next, through the measurement and analysis of the results, we find that metal patients show a higher LLE and a lower ANB than normal individuals, which provides a possible method by which to judge whether one suffers from mental illness. This result implies a distinctive feature of mental illness sufferers: unwillingness to communicate and inability to keep their composure. Then, through further experiment, we analyze the relationship between mental pressure and error rate, and provide evidence of the correlation between LLE and the extent of mental and physical fatigue. Finally, we address some of the theoretical and practical problems that we might encounter when introducing this technology to China, and we also propose some tentative plans through which to solve these problems.